
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Akhir
Sidang Akademik 2007/2008

April 2008

JNK451/3 – Mechanical Vibration & Automatic Control
Getaran Mekanik & Kawalan Automatik

Duration : 3 hours

Masa : 3 jam

INSTRUCTIONS TO CANDIDATE:

ARAHAN KEPADA CALON :

Please check that this paper contains **SEVEN (7)** printed pages, **ONE (1)** pages appendix and **SIX (6)** questions before you begin the examination.

*Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **TUJUH (7)** mukasurat bercetak, **SATU (1)** mukasurat lampiran dan **ENAM (6)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan.*

Answer **FIVE (5)** questions.

*Jawab **LIMA (5)** soalan.*

Appendix/Lampiran :

1. Fundamental Equations in Vibration

[1 page/mukasurat]

Answer all questions in **English** OR **Bahasa Malaysia**.

*Calon boleh menjawab semua soalan dalam **Bahasa Malaysia** ATAU **Bahasa Inggeris**.*

Start answering each question in a new page.

Setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.

- Q1. [a]** Consider the translational vibrations of a small rigid lathe along the cutting direction. A model of this system has a stiffness element $k = 20 \times 10^6$ N/m, an inertia element $m = 22.5$ kg, and a damping coefficient $c = 21205$ Ns/m. Derive the free response of this system for a 5 mm initial displacement and zero initial velocity.

Pertimbangkan getaran peralihan sepanjang arah potongan sebuah mesin pelarik kecil. Sebuah model bagi sistem ini mempunyai unsur kekakuan $k = 20 \times 10^6$ N/m, unsur inersia $m = 22.5$ kg, pekali redaman $c = 21205$ Ns/m. Terbitkan tindak balas bebas sistem ini bagi anjakan awal 5 mm dan halaju awal sifar.

(50 marks/markah)

- [b]** An air compressor with a total mass of 100 kg is operated at a constant speed of 2000 rpm. The unbalanced mass is 4 kg and the eccentricity is 0.12 m. The air compressor is mounted such that the damping ratio is 0.15 :

- (i) Determine the spring stiffness the mounting must have so that only 20 percent of the unbalance force is transmitted to the foundation.
- (ii) Amplitude of the transmitted force.

Sebuah pemampat udara dengan jisim keseluruhan 100 kg dijalankan pada kelajuan malar 2000 psm. Jisim tidak seimbang ialah 4 kg dan kesipian ialah 0.12 m. Pemampat udara diletakkan sebegitu rupa dengan mempunyai nisbah redaman 0.15:

- (i) Tentukan kekenyalan spring yang diperlukan oleh cagak supaya hanya 20 peratus daripada daya tak seimbang dihantarkan ke tapak.
- (ii) Amplitud daya yang terhantar.

(50 marks/markah)

- Q2. [a]** An industrial machine of 300 kg is mounted on a massless support by spring of stiffness 40 kN/m and a damper of unknown damping coefficient. The machine is observed to vibrate with 10 mm-amplitude due to the vibrating support, which has a maximum amplitude of 2.5 mm at resonance.

- (i) Determine the damping constant of the system.
- (ii) Determine the amplitude of the force on the base.

Sebuah mesin industri dengan nilai jisim 300 kg diletakkan ke atas penyokong tanpa jisim dengan kekakuan 40 kN/m dan peredam yang tidak diketahui nilai pekali redaman. Mesin itu dilihat bergetar dengan amplitud 10 mm disebabkan oleh penyokong getaran, yang mana mempunyai nilai amplitud maksima 2.5 mm pada resonans.

- (i) Tentukan pekali redaman bagi sistem.
- (ii) Tentukan amplitud daya ke atas tapak.

(40 marks/markah)

- [b] A motorcycle travels on a road whose profile can be approximated with a sinusoidal function given by Figure Q2[b] where the wavelength L is 7 m and the amplitude Y is 2 cm. The equivalent mass of the motorcycle is 100 kg, the spring stiffness is 5 kN/m, and the damping coefficient is 50 Ns/m.
- Determine the speed where the motorcycle has the largest vertical displacement.
 - Determine the amplitude of the vibration if the motorcycle travels at 60 km/h.

Sebuah motosikal melalui sebatang jalan yang mempunyai profil yang boleh dianggarkan mempunyai fungsi bentuk sinus seperti yang tertera di dalam Rajah S2[b], di mana panjang gelombang L ialah 7 m dan amplitud Y ialah 2 cm. Jisim setara bagi motosikal ialah 100 kg, ketegaran spring 5 kN/m, dan pekali redaman 50 Ns/m.

- Tentukan kelajuan di mana motosikal mengalami anjakan tegak maksima.*
- Tentukan amplitud getaran jika motosikal bergerak dengan laju 60 km/j.*

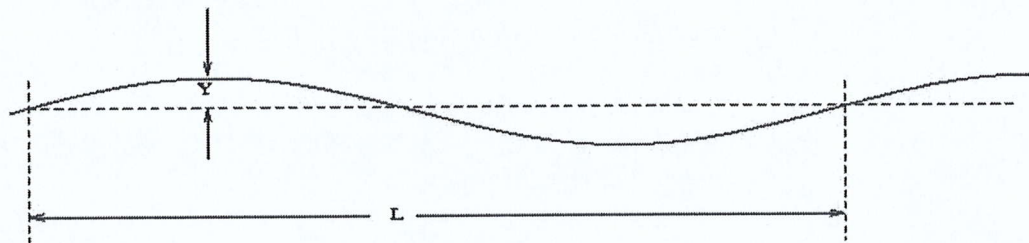


Figure Q2[b]
Rajah S2[b]

(60 marks/markah)

- Q3. [a] A model of a vehicle suspension system is given in Figure Q3[a] with the following properties: mass of car is 2000 kg; mass of tyre is 50 kg; stiffness of car spring is 10^3 N/m; and stiffness of tyre is 10^4 N/m. Ignore the mass of the car spring.

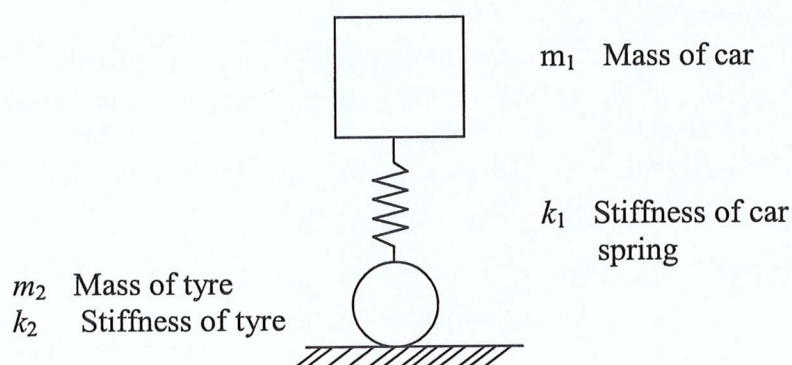


Figure Q3[a]
Rajah S3[a]

- (i) Draw free body diagram of m_1 (mass of car) and m_2 (mass of tyre)

Determine:

- (ii) the equations of motions for m_1 and m_2
- (iii) the stiffness matrix and the mass matrix
- (iv) the characteristic equation of the system
- (v) the natural frequencies of the system
- (vi) the amplitude of vibration of the car mass if a harmonic force $F_t = 0.01 \sin t$ acts on the tyre.

Sebuah model bagi sistem gantungan kenderaan diberikan dalam Rajah S3[a] dengan ciri-ciri berikut: jisim kereta 2000 kg; jisim tayar 50 kg; kekakuan spring kereta 10^3 N/m; kekakuan tayar 10^4 N/m. Abaikan jisim spring kereta.

- (i) Lukis rajah badan bebas m_1 (jisim kereta) dan m_2 (jisim tayar)

Tentukan:

- (ii) persamaan-persamaan pergerakan bagi m_1 and m_2
- (iii) matriks kakuan dan matriks jisim
- (iv) persamaan ciri
- (v) frekuensi-frekuensi jati sistem.
- (vi) Amplitud getaran jisim kereta jika daya harmonik $F_t = 0.01 \sin t$ bertindak ke atas tayar.

(70 marks/markah)

- [b] Figure Q3[b] shows a 2-dof system for a dynamic vibration absorber (DVA) where the amplitude of vibration of mass 1, X_1 is to be minimized.

- (i) Sketch the response plot of X_1/δ_{st} versus the frequency ratio ω/ω_1 where δ_{st} is the static deflection of mass 1 and ω_1 is the natural frequency of the primary system.
- (ii) Based on your sketch in (i), describe one drawback of the DVA.

Rajah S3[b] menunjukkan sistem 2 darjah kebebasan bagi peyerap getaran dinamik di mana amplitud getaran jisim 1, X_1 , akan dikurangkan ke tahap minimum.

- (i) Lakarkan plot sambutan X_1/δ_{st} lawan nisbah frekuensi ω/ω_1 di mana δ_{st} ialah anjakan statik jisim 1 dan ω_1 ialah frekuensi jati sistem utama.
- (ii) Berdasarkan lakaran anda, terangkan satu kekurangan penyerap getaran dinamik.

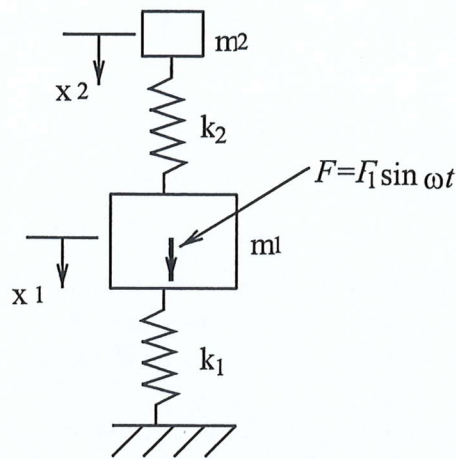


Figure Q3[b]
Rajah S3[b]

(30 marks/markah)

- Q4. A control system for accurately controlling the position of a laser cutting beam has a block diagram shown in Figure Q4. The transfer function of the process, controller and feedback are $G_2(s) = \frac{5}{s+p}$, $G_1(s) = \frac{2}{s+1}$ and $H(s) = 0.9$ respectively.

Suatu sistem kawalan bagi mengawal posisi satu pancaran memotong laser dengan jitu mempunyai rajah blok seperti ditunjukkan dalam Rajah S4. Rangkap pindah bagi proses, pengawal dan suap-baliknya masing-masing adalah $G_2(s) = \frac{5}{s+p}$,

$$G_1(s) = \frac{2}{s+1} \text{ dan } H(s) = 0.9.$$

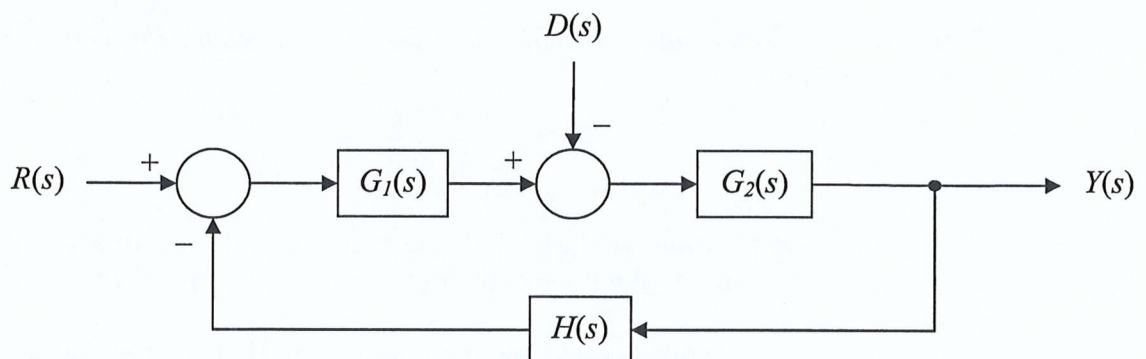


Figure Q4
Rajah S4

- [a] Find the sensitivity of the system toward the change in the parameter p when there is no disturbance. Comment on the sensitivity if $p = 1$ and $s = -2$.

Dapatkan kepekaan sistem terhadap perubahan dalam parameter p bila tiada gangguan. Komen terhadap kepekaannya jika $p = 1$ dan $s = -2$.

(30 marks/markah)

- [b] Derive the equation of the system response in time domain when there is no disturbance, the desired response is a unit step function and $p = 1$. (Use the given inverse Laplace transform.)

Terbitkan persamaan sambutan sistem dalam domain masa apabila tiada gangguan, sambutan diingini adalah satu rangkap pelangkah seunit dan $p = 1$. (Gunakan penjelmaan Laplace songsang diberikan.)

$$Y(s) = \frac{\omega_n^2}{s(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)} \Rightarrow y(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t + \cos^{-1} \zeta)$$

(40 marks/markah)

- [c] Calculate the steady state response of the system when the disturbance is a unit impulse function and $p = 1$ (assuming there is no desired response). Comment on the steady state response.

Kira sambutan keadaan mantap sistem apabila gangguan adalah satu rangkap denyut seunit dan $p = 1$ (anggap tiada sambutan diingini). Komen terhadap sambutan keadaan mantapnya.

(30 marks/markah)

- Q5. A system that controls the air fuel ratio of an automobile engine has a transfer function

Suatu sistem yang mengawal nisbah udara bahanapi sebuah enjin kereta mempunyai rangkap pindah

$$T(s) = \frac{b}{(s+p)(s^2 + as + b)}$$

- [a] Find the position of the third pole p for a unit step input if the second order system has the dominant roots with $a = 6$ and $b = 9$.

Dapatkan posisi kutub yang ketiga p bagi satu masukan pelangkah seunit jika sistem darjah keduanya mempunyai punca-punca yang dominan dengan $a = 6$ dan $b = 9$.

(20 marks/markah)

- [b] Calculate the percentage of overshoot for a unit step input if the second order system has the dominant roots with $a = 6$ and $b = 9$.

Kira peratusan lajukan bagi satu masukan pelangkah seunit jika sistem darjah keduanya mempunyai punca-punca yang dominan dengan $a = 6$ dan $b = 9$.

(30 marks/markah)

- [c] Find the dominant roots of the second order system by calculating a and b so that the steady state error is 0.1 for a unit ramp input and the settling time (within 5% of the final value) is 0.6 second for a unit step input.

Dapatkan punca-punca yang dominan bagi sistem darjah keduanya dengan mengira a dan b supaya ralat keadaan mantapnya ialah 0.1 bagi satu masukan tanjakan seunit dan masa penetapannya (dalam 5% nilai akhir) ialah 0.6 saat bagi satu masukan pelangkah seunit.

(50 marks/markah)

- Q6. A welding head for an automobile body requires a control system for positioning the head. The control system has process transfer function $G_2(s)$, controller transfer function $G_1(s)$ and a unity feedback where $z = 5$, $p = 4$, $q = 0.5 + j3$ and $r = 0.5 - j3$.

Sebuah kepala kimpalan bagi sebuah badan kereta memerlukan satu sistem kawalan untuk memposisikan kepalanya. Sistem kawalannya mempunyai rangkap pindah proses $G_2(s)$, rangkap pindah pengawal $G_1(s)$ dan suap-balik seunit yang mana $z = 5$, $p = 4$, $q = 0.5 + j3$ dan $r = 0.5 - j3$.

$$G_1(s) = \frac{K}{s + p} \quad G_2(s) = \frac{s + z}{(s + q)(s + r)}$$

- [a] Write the characteristics equation, locate the poles and zeros in the s -plane and determine the number of finite pole, finite zeros and separate loci.

Tuliskan persamaan cirinya, tentukan lokasi kutub-kutub dan sifar-sifar dalam satah- s dan tentukan bilangan kutub terhingga, sifar terhingga dan londar terasing.

(30 marks/markah)

- [b] Calculate the center and angles of asymptotes and the angle of departure at the complex poles.

Kira pusat dan sudut-sudut asymtot-asymtotnya dan sudut berlepas pada kutub-kutub kompleksnya.

(30 marks/markah)

- [c] Sketch the root locus.

Lakarkan lodar puncanya.

(40 marks/markah)